

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, профиль подготовки «Основные процессы химических производств и химическая кибернетика»

Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Исследование и повышение эффективности процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив с использованием метода математического моделирования	

УДК 665.753.4:665.637.73:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Афанасьева Дарья Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белинская Наталия Сергеевна	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Расчеты и аналитика»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Францина Евгения Владимировна	К.Т.Н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,14,16,17,18), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,7,10,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Общекультурные компетенции		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК- 1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, профиль подготовки «Основные процессы химических производств и химическая кибернетика»
Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Юрьев Е.М.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Афанасьевой Дарье Александровне

Тема работы:

Исследование и повышение эффективности процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив с использованием метода математического моделирования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1489/с от 05.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: промышленная установка каталитической депарафинизации дизельных фракций совместно с блоком выделения парафинов «Парекс».</p> <p>Режим работы – непрерывный.</p> <p>Исходные данные: технологические режимы работы реактора депарафинизации, составы потоков, технологическая схема установки, требования к продукту.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1 Обзор литературы</p> <p>1.1 Производство зимнего и арктического дизельного топлива в России</p> <p>1.2 Современные требования к дизельным топливам</p> <p>1.3 Современные технологии каталитической депарафинизации дизельных топлив</p> <p>1.4 Постановка цели и задач исследования</p> <p>2 Объект и методы исследования</p> <p>2.1 Объект исследования</p> <p>2.2 Методы исследования</p> <p>3 Расчеты и аналитика</p> <p>4 Результаты проведенного исследования</p> <p>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</p> <p>5.2 Планирование научно-исследовательских работ</p> <p>5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</p> <p>6 Социальная ответственность</p> <p>6.1 Производственная безопасность</p> <p>6.2 Экологическая безопасность</p> <p>6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p> <p>6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Расчет и аналитика</p>	<p>Францина Евгения Владимировна, к.т.н, научный сотрудник</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна, к.э.н., доцент</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Немцова Ольга Александровна, ассистент</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.02.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белинская Н.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Афанасьева Д.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Афанасьевой Дарье Александровне

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет	Составление графика проведения НИ. Определение бюджета НИ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
5. Сравнительная эффективность разработки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Афанасьева Дарья Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Афанасьевой Дарье Александровне

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго-ресурсосберегающие процессы химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объект исследования – установка каталитической депарафинизации дизельного топлива
Область применения – нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленности

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность
1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);

1.1. Анализ возникающих вредных факторов:

- повышенная загазованность воздуха рабочей зоны;
- отклонения показателей микроклимата;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации
- недостаточная освещенность рабочей зоны.

1.2. Анализ возникающих опасных факторов:

- поражение электрическим током;
- пожаро- и взрывоопасность;
- получение термических ожогов;
- Работа с сосудами под давлением.

Микроклимат и содержание вредных веществ по ГОСТ 12.1.005–88;

Измерение шума на рабочем месте по ГОСТ 12.1.003 –2014;

Измерение вибрации по ГОСТ Р 12.1.012-90;

Недостаточная освещенность по СНиП 23-05-95;

Опасность поражения электрическим током по ГОСТ Р 12.1.019-2009;

Опасность взрыва и пожара по ГОСТ 12.1.010–76;

Опасность термических ожогов по РД

<ul style="list-style-type: none"> – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>153-34.0-03.702-99; <i>Правила работы с сосудами под давлением по ПБ 03-576-2003.</i></p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Защита селитебной зоны: <i>Объект по переработке нефти относится к I классу опасности. Санитарно-защитная зона – 1000 м. Величина ПДК среднесуточное, мг/м³:</i> <i>Азот (II) оксид – 0,04;</i> <i>Азота диоксид – 0,06;</i> <i>Сера диоксид – 0,05;</i> <i>Углерода оксид – 3,0.</i> Защита атмосферы: <ul style="list-style-type: none"> – Очистка; – Сжигание на факельных установках; – Каталитический дожиг; – Применение котлов-утилизаторов. Защита гидросферы: <ul style="list-style-type: none"> – Дренажные емкости; – Обвалование площадок; – Механическая очистка. Защита литосферы: <ul style="list-style-type: none"> – Захоронение; – Обезвреживание в шламонакопителях; – Переработка. </p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Чрезвычайные ситуации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Взрыв, пожар, разгерметизация оборудования; – Протечки в заторно-регулирующей арматуре или в аппаратах; – Сбои в работе системы электроснабжения. – Прекращение подачи сырья. <p><i>При возникновении ЧС в первую очередь необходимо сообщить в пожарную охрану и скорую помощь.</i></p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p><i>К работе не допускаются женщины и лица, не достигшие</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>восемнадцатилетнего возрасте.</i> <i>Продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю;</i> <i>Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск - не менее 7 календарных дней;</i> <i>Повышена оплата труда – не менее 4% тарифной ставки.</i></p>
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Афанасьева Дарья Александровна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 96 с., 14 рис., 31 табл., 58 источников, 2 прил.

Ключевые слова: КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕПАРАФИНИЗАЦИЯ, ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВОЙСТВА, ГЛУБИНА ПЕРЕРАБОТКИ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Объектом исследования является промышленная установка каталитической депарафинизации дизельных фракций совместно с блоком выделения парафинов «Парекс».

Цель работы – повышение эффективности производства низкозастывающего дизельного топлива.

В процессе исследования проводились расчеты на математической модели.

В результате исследования определен способ расширения сырьевой базы установки каталитической депарафинизации и оптимальные технологические условия работы установки.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: технические условия в реакторе.

Степень внедрения: компьютерная моделирующая система процесса каталитической депарафинизации ДТ внедрена на установку каталитической депарафинизации одного из российских промышленных нефтеперерабатывающих предприятий в научно-производственных целях.

Область применения: нефтеперерабатывающие предприятия, где реализован процесс каталитической депарафинизации дизельного топлива.

Экономическая значимость работы заключается в возможности применения математической модели для оптимизации процесса путем подбора оптимального технологического режима, без вмешательства в работу установки, что позволяет получать максимальный выход продукта с требуемыми характеристиками качества с минимальными затратами.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ Р 12.0.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
3. ГОСТ 12.1.003–2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
4. ГОСТ 12.1.004–91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.
5. ГОСТ 12.1.007–76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
6. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
7. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.
8. ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия»
9. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия (с Изменением № 1)»
10. ГОСТ Р 55475-2013 «Топливо дизельное зимнее и арктическое депарафинированное. Технические условия»
11. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

предельная температура фильтруемости: Наиболее высокая температура, при которой данный объем топлива не проходит через стандартный фильтр в установленное время при стандартизированных условиях охлаждения.

Константа скорости: коэффициент пропорциональности в кинетическом уравнении химической реакции, выражающем зависимость скорости реакции от концентрации какого-либо из компонентов реакционной смеси.

Математическое моделирование: исследование процесса на моделях, представленных в виде математических зависимостей, отражающих физико-химическую сущность процесса, с целью предсказания результатов его протекания в аппаратах заданной конструкции любых размеров.

Обозначения и сокращения

Данная работа содержит следующие обозначения и сокращения:

ДТ – дизельное топливо;

ПТФ – предельная температура фильтруемости;

ВСГ – водородсодержащий газ;

МАУ – моноароматические углеводороды;

ПАУ – полиароматические углеводороды;

КМС – компьютерная моделирующая система.

Оглавление

Введение.....	15
1 Обзор литературы	19
1.1 Производство зимнего и арктического ДТ в России.....	19
1.2 Современные требования к ДТ.....	21
1.3 Современные технологии каталитической депарафинизации ДТ	23
1.4 Постановка цели и задач исследования	30
2 Объект и методы исследования	32
2.1 Объект исследования	32
2.2 Методы исследования.....	34
3 Расчеты и аналитика	37
4 Результаты и обсуждение.....	41
4.1 Зависимость выработки целевого продукта от расхода дополнительно вовлекаемой фракции углеводородов $C_{14}-C_{20}$	42
4.2 Зависимость температурного режима в реакторе от расхода дополнительно вовлекаемой фракции углеводородов $C_{14}-C_{20}$	43
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	46
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	46
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений	47
5.1.2 SWOT-анализ.....	49
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	51
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	52
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	53
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	54
5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	55
5.2.5 Расчет материальных затрат НТИ	55
5.2.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	56
5.2.7 Основная заработная плата исполнителей темы.....	56

5.2.8 Расчет дополнительной заработной платы.....	59
5.2.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	59
5.2.10 Накладные расходы.....	60
5.2.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	61
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
6 Социальная ответственность	64
6.1 Производственная безопасность.....	65
6.1.1 Анализ возникающих вредных факторов.....	66
6.1.2 Анализ возникающих опасных факторов.....	70
6.2 Экологическая безопасность.....	72
6.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	72
6.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	75
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	76
6.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	77
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	80
Заключение	82
Список публикаций.....	84
Список использованных источников	87
Приложение А	94
Приложение Б.....	96

Введение

В настоящее время в России наиболее востребованным видом топлива для двигателей внутреннего сгорания является ДТ, производство которого с каждым годом значительно возрастает. Рост потребления ДТ в России вызван увеличением численности легковых автомобилей с дизельным двигателем внутреннего сгорания и обновлением парка грузовых автомобилей и автобусов, среди которых дизельные составляют 97,8 % и 62,4 % соответственно [1]. В связи с данной тенденцией разработка новых методов и подходов увеличения производства ДТ, отвечающего современным требованиям, является актуальной задачей по углублению переработки сырья на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Под качеством ДТ подразумеваются низкотемпературные свойства этого топлива. В России наблюдается серьезный дефицит производства низкозастывающего ДТ, обусловленный географическим положением и климатом значительной части регионов страны, существующая потребность в низкозастывающем ДТ покрывается менее чем наполовину. Данная статистика определяет важность и востребованность мероприятий, реализация которых будет способствовать нивелированию существующего дефицита [2].

Актуальными задачами эффективного управления ресурсами нефтеперерабатывающего предприятия являются оптимальное распределение сырьевых и продуктовых потоков технологических установок, содержащих углеводороды дизельной фракции, а также определение оптимального состава сырья, обеспечивающего высокий выход продукта при сохранении требуемого качества [3, 4], с целью увеличения производства ДТ с улучшенными низкотемпературными свойствами. В данной работе рассмотрен способ увеличения объема производства низкозастывающего ДТ за счет вовлечения дополнительного потока – малоценной среднестиллятной фракции с технологической установки процесса дегидрирования – в процесс каталитической депарафинизации.

Исследованиями процесса каталитической депарафинизации занимаются: научный коллектив отделения химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета, Уфимского государственного нефтяного технического университета (Салихов А.И. и др.) [5], ОАО «ВНИИ НП», г. Москва (Хавкин В.А., Митусова Т.Н., Гуляева Л.А. и др.) [6, 7, 8], ОАО «ВНИПИнефть», г. Москва (Капустин В.М., Кузора И.Е. и др.) [1, 9], ООО «Объединенный центр исследований и разработок РН-ЦИР», г. Москва (Фадеев В.В., Герасимов Д.Н. и др.) [10, 11, 12], СибГТУ, г. Красноярск (Дружинин О.А. и др.), СПГТУ (Камешков А.В., Федоров В.И., Семикин К.В.) [13, 14, 15], АО «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза» (Киселева Т.П., Алиев Р.Р., Посохова О.М., Целютина М.И. и др.) [16, 17, 18], ОАО «Славнефть-ЯНОС» (Никитин А.А., Карасев Е.Н.) [19], «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина» (Буров Е.А., Груданова А.И.) [2].

Большинство исследований направлено на разработку отечественных катализаторов процесса депарафинизации с улучшенными свойствами (активность, селективность и др.). Однако недостаточно глубоко изучается вопрос о безостаточном и более эффективном производстве низкозастывающего ДТ, которое достигается за счет вовлечения дополнительных потоков в производство ДТ и оптимизации состава сырья и технологических условий на действующих производствах.

Целью работы является повышение эффективности производства низкозастывающего ДТ на основе варьирования состава сырья, вовлекаемого на установку каталитической депарафинизации, с использованием метода математического моделирования.

Объектом исследования является промышленная установка каталитической депарафинизации дизельных фракций совместно с блоком выделения парафинов «Парекс».

Предметом исследования являются физико-химические закономерности протекания процесса депарафинизации, а также закономерности влияния состава сырья и технологических параметров процесса на низкотемпературные свойства и выход продукта.

Личный вклад заключается в выявлении способа повышения эффективности использования сырьевых и продуктовых потоков нефтеперерабатывающего предприятия в контексте производства низкозастывающих ДТ, исследовании влияния состава вовлекаемого сырья и основных технологических параметров, таких как температура и расход сырья на процесс каталитической депарафинизации с использованием математической модели, а также оптимизация технологического режима работы реактора депарафинизации.

Практическая значимость результатов работы

Результаты исследования, в частности оптимальные режимы работы реактора каталитической депарафинизации используются на одном из российских промышленных нефтеперерабатывающих предприятий; зарегистрированная программа расчета параметров процесса каталитической депарафинизации для электронно-вычислительных машин используется в отделении химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета в учебной работе в рамках предмета «Компьютерные моделирующие системы» при дипломном и курсовом проектировании по направлениям 18.04.01 «Химическая технология» и 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

Реализация и апробация работы

Результаты исследований, проведенных в рамках работы, представлены на следующих научно-практических конференциях и симпозиумах: XXII Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2018 г.); XXI Международный научный симпозиум студентов и молодых

ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2017 г.); XVIII Международная научно-практическая конференция «Химия и химическая технология в XXI веке» студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева (г. Томск, 2017 г.).

Также на основе результатов исследования была реализована КМС процесса каталитической депарафинизации ДТ и внедрена на установку каталитической депарафинизации одного из российских промышленных нефтеперерабатывающих предприятий в научно-производственных целях (Акт о внедрении от 06.12.2017).

1 Обзор литературы

1.1 Производство зимнего и арктического ДТ в России

В течение многих лет нефтеперерабатывающими заводами реализуется и совершенствуется производство ДТ, обладающего улучшенными низкотемпературными свойствами, что обуславливается холодными климатическими условиями территории России.

К способам получения ДТ, предназначенного для использования в холодных климатических условиях можно отнести [17]:

- понижение температуры конца кипения, перерабатывая ДТ «летнее» (вторичная перегонка, разбавление керосином/бензином) или выделяя из нефти фр. 140-300 °С. Недостатки данного способа – увеличение пожароопасности топлива, сокращение производства авиационного керосина и «летнего» ДТ [17];

- применение депрессорных присадок и диспергаторов парафинов [17], снижающих температуру застывания, мало влияющих на температуру помутнения, что ограничивает возможность их применения. При этом существуют сложности в выборе оптимального состава и дозы присадки для отдельных фракций;

- электродепарафинизация для частичного удаления высокоплавких n-парафинов [17]. Проведение процесса возможно только при совместном использовании электрического поля и депрессорных присадок, низкотемпературные свойства при этом улучшаются всего лишь на 10-15 °С;

- депарафинизация кристаллизацией, основанной на понижении растворимости парафинов в нефтепродуктах при охлаждении. Кристаллические образования отделяют от раствора фильтрованием или центрифугированием, при этом уменьшается выход ДТ [17];

- карбамидная депарафинизация, основанная на способности парафинов образовывать с карбамидом твердые комплексы, нерастворимые в нефтяных продуктах. Полное удаление высокомолекулярных углеводородов этим

методом не достигается, при этом температура застывания топлива обеспечивается минус 35 °С, температура помутнения снижается до минус 11 °С [17];

- экстрагирование, исходящие из способности некоторых растворителей селективно разделять низкозастывающие и высокозастывающие компоненты нефтяных продуктов [17]. Экстракционная депарафинизация является энергоемкой и нетехнологичной, а в настоящее время и экологически недопустимой;

- использование сорбентов, избирательно адсорбирующих из нефтяного сырья либо застывающие, либо низкозастывающие компоненты. В качестве сорбентов применяют активированный уголь, молекулярные сита из цеолита типа А [17];

- каталитические процессы гидрокрекинга, депарафинизации и изодепарафинизации, направлены на изменение углеводородного состава топлива, что обеспечивает снижение не только температуры застывания, но и ПТФ и температуры помутнения [17];

- получение из растительных масел биодизеля с высоким цетановым числом – 56-58 ед. Экологически чистое топливо снижает эмиссию вредных веществ по сравнению с нефтяным ДТ [17]. Массовому применению мешает необходимость внесения изменений в конструкцию дизельных моторов и высокие затраты на производство топлива.

Процесс каталитической депарафинизации, относящийся к каталитическим процессам производства ДТ, является наиболее перспективным, так как позволяет в достаточно широких пределах преобразовывать химический состав исходного сырья, значительно увеличить степень его использования и, следовательно, повысить выход и качество целевых продуктов [20].

Цель процесса каталитической депарафинизации заключается в получении компонентов зимнего и арктического ДТ или масел с низкой

температурой застывания, колеблющейся в пределах от минус 18 до минус 68 °С [21].

К преимуществам изучаемого процесса перед другими способами производства ДТ относятся:

- более низкие капитальные и эксплуатационные затраты для строительства и обслуживания установки каталитической депарафинизации [12];
- экологичность, с точки зрения уменьшенного количества выбросов в окружающую среду [12];
- высокая гибкость процесса: возможность получать фракции базовых масел и дистиллятные фракции с хорошими низкотемпературными свойствами [5];
- постоянное качество продуктов в течение всего цикла [22];
- минимальное снижение вязкости получаемых продуктов по сравнению с другими способами депарафинизации [5];
- использование менее дорогостоящего катализатора, по сравнению с применяемым катализатором в процессе изодепарафинизации;
- длительный срок службы катализатора.

В настоящее время производство ДТ в процессе каталитической депарафинизации реализуется на шести российских заводах:

- ООО «Лукойл-Ухтанефтепереработка»,
- ОАО «Сургутский ЗСК», ОАО «Ачинский НПЗ»,
- ОАО «Комсомольский НПЗ»,
- ООО «КИНЕФ»,
- ОАО «Газпромнефть – Омский нефтеперерабатывающий завод» [17].

1.2 Современные требования к ДТ

В настоящее время в России экологические и эксплуатационные характеристики ДТ регулируются Техническими условиями, а также Техническим регламентом Таможенного Союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» [23].

Технические условия устанавливаются следующими основными Государственными стандартами:

- ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия (с Изменением № 1)» [24],
- ГОСТ Р 55475-2013 «Топливо дизельное зимнее и арктическое депарафинированное. Технические условия» [25],
- ГОСТ 32511-2013 (ЕН 590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия» [26] – вступил в силу 01.01.2015 г.

Технический регламент Таможенного Союза устанавливает требования к топливу в целях обеспечения защиты жизни и здоровья человека, имущества, охраны окружающей среды [23].

В государственном стандарте ГОСТ Р 52368-2005 для пяти классов ДТ (от 0 до 4) регламентируются определенные значения ПТФ, температуры помутнения, плотности, кинематической вязкости, цетанового числа, цетанового индекса, содержания серы и воды и т.д. В России согласно указанному стандарту содержание серы в ДТ Евро-3 должно быть не более 350 мг/кг, для Евро-4 – не более 50 мг/кг и для Евро-5 – не более 10 мг/кг.

В соответствии с ГОСТ 32511-2013 и ГОСТ Р 55475-2013, качество ДТ определяется такими же показателями, как и по ГОСТ Р 52368-2005, однако численные значения которых отличаются в зависимости от вида и класса ДТ.

Техническим регламентом Таможенного Союза ТР ТС 013/2011 для трех классов зимнего и арктического ДТ нормируются такие показатели, как массовая доля серы, температура вспышки в закрытом тигле фракционный

состав, массовая доля полициклических ароматических углеводородов, цетановое число, смазывающая способность и ПТФ. Согласно Техническому регламенту ПТФ ДТ для всех трех экологических классов равна минус 20 °С, ПТФ ДТ арктического – минус 38 °С [2].

1.3 Современные технологии каталитической депарафинизации ДТ

На данный момент снижение дефицита ДТ для холодного и арктического климата возможно за счет широкомасштабного внедрения современных гидрогенизационных процессов его производства.

Процесс каталитической депарафинизации характеризуется совокупностью нескольких реакций, среди которых значительное место занимает крекинг [27], приводящий к расщеплению длинноцепочечных углеводородов [17]. Помимо гидрокрекинга протекают реакции изомеризации, гидрирования, гидродециклизации и образования коксогенных структур [17].

Наряду с этим в реакторе депарафинизации протекают реакции гидрогенолиза сернистых и азотистых соединений [17].

Впервые в 1978 г. фирме «Мобил» удалось осуществить промышленное производство нефтяных фракций с пониженными температурами застывания на заводах Италии и Германии (рис. 1.1) [28].

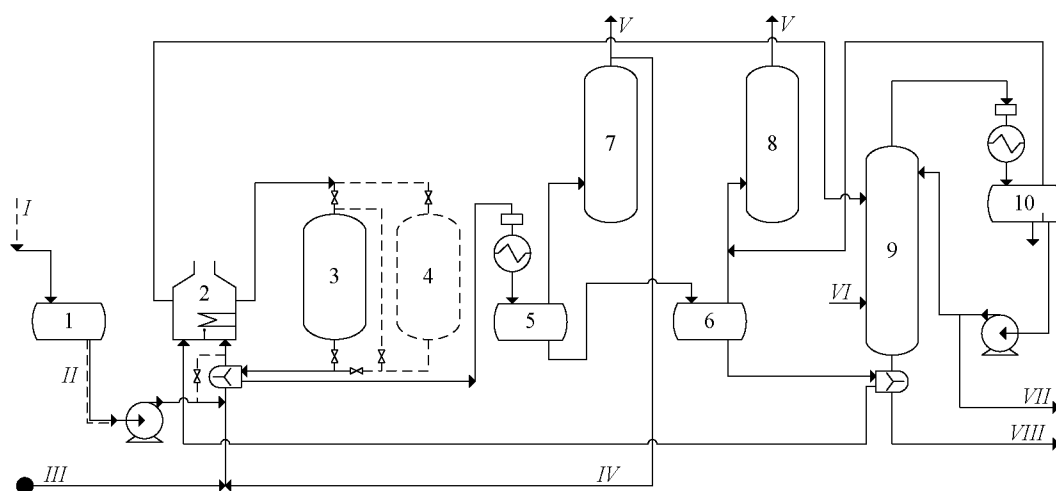


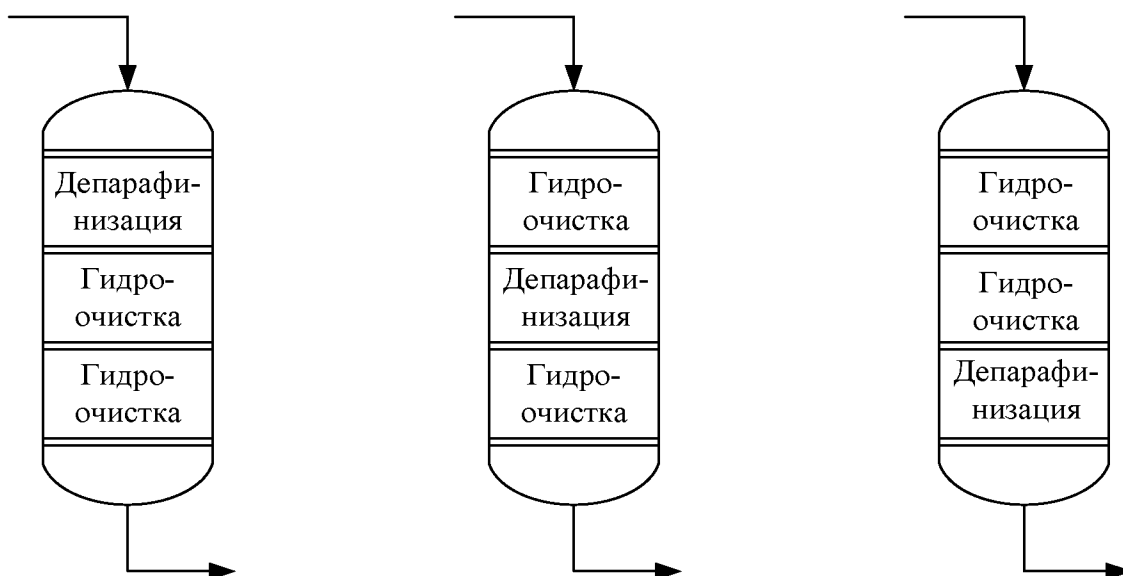
Рисунок 1.1 – Схема установки обессеривания средних дистиллятов на нефтеперерабатывающем заводе «Сарни» фирмы «Галф Италиана» в Бертонино

Процесс проводили на существующих установках гидрообессеривания, поэтому не были решены многие технологические проблемы: влияние сероводорода, активация и регенерация катализаторов и др. Внедрение шло с большими трудностями, поскольку катализаторы очень быстро дезактивировались [29].

Фирмы «Мобил», «Зюд-Хеми» и «Шелл» большое внимание уделили влиянию сероводорода на скорость процесса депарафинизации и на скорость дезактивации катализатора.

Графическое изображение процессов производства ДТ в зависимости от содержания серы в составе сырья представлено на рис. 1.2.

Низкое содержание серы и азота	Среднее содержание серы и азота	Высокое содержание серы и азота
-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------



Катализаторы на основных металлах

Рисунок 1.2 – Получение ДТ из сырья с различным содержанием серы и азота [28]

Было установлено, что из сырья с различным содержанием серы зимнее ДТ получают по различным технологиям [29]:

- сырье с очень низким содержанием серы используется только при отдельно стоящем реакторе с катализатором депарафинизации;
- сырье с концентрацией менее среднего содержания серы и азота пропускают последовательно через реактор с катализатором депарафинизации, а затем через реактор с катализатором гидрообессеривания;
- сырье с концентрацией серы и азота от средней до высокой, пропускают последовательно через реакторы с катализаторами гидрообессеривания и депарафинизации;
- сырье с высоким содержанием серы и азота последовательно пропускают через реакторы с катализаторами гидрообессеривания, депарафинизации и доочистки;
- при исключении ингибирующего влияния сероводорода промежуточной сепарацией сероводорода и аммиака между реакторами гидрообессеривания и депарафинизации наблюдается наибольший эффект.

В 2003 году на НПЗ г. Ухта (ООО «Лукойл-Ухтанефтепереработка») была построена первая установка производства ДТ ГДС-850, предполагавшей три реактора с последовательно размещенными катализаторами деметаллизации, депарафинизации и гидрообессеривания (G78A, Hydex-G, C-20-6-05 TRX соответственно). В процессе перерабатывались фракции 200–340 °С с температурами застывания минус 18–20 °С при давлении 50 атм, температуре 322–378 °С. Результаты опытов, проведенных на установке, по влиянию температуры на процесс, показали, что при переработке фракций с температурой конца кипения 335–338 °С температура застывания снижается с минус 15 до минус 33–38 °С. В 2012 г. установку переоборудовали катализаторами гидроочистки «Axens» и каталитической депарафинизации Hydex-G для получения топлив экологического класса К-5. Производительность установки увеличилась до 1 млн. т/год, выход зимнего ДТ составил 90 %.

В г. Сургут (ОАО «Сургутнефтегаз») на заводе стабилизации конденсата в 2004 г. была введена установка ЛКС 35-64 с секцией 200 по производству зимнего ДТ. При этом в первые два реактора был загружен катализатор депарафинизации СГК-1, а в третий – катализатор гидрообессеривания КГУ-950 (рис. 1.3) [28].

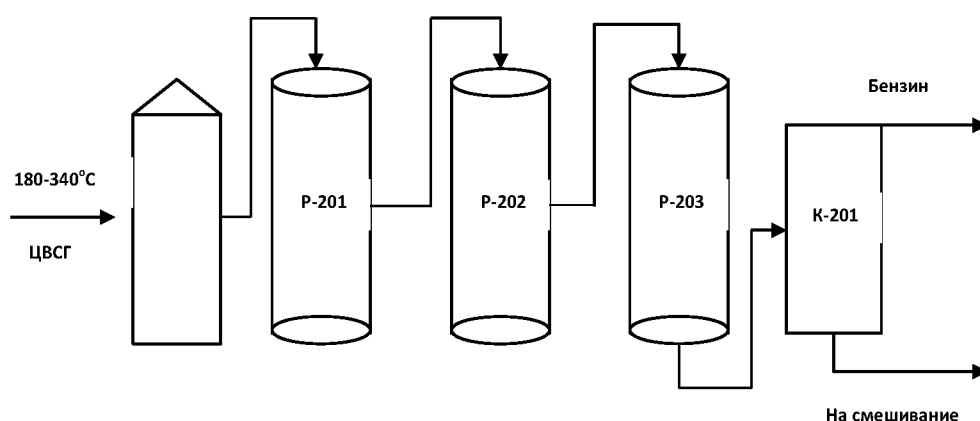


Рисунок 1.3 – Схема реакторного блока секции 200 установки ЛКС 35-64

П-201 – печь; P-201-P-203 – реакторы; K-201 – колонна стабилизации

В результате опытных пробегов на данной установке было создано четыре технологии по производству зимнего ДТ [28]:

- сырье депарафинировали в первых двух реакторах Р-201, Р-202 на катализаторе СГК-1, затем гидрообессеривали в Р-203;
- в каталитический депарафинизат секции 200 была добавлена прямогонная дизельная фракция;
- в секции 200 смешивали гидрогенизат – результат очистки керосиновой фракции в секции 300 – с сырьем депарафинизации;
- смешивали кубовые остатки секций 200 и 300.

Температура процесса с 2004 по 2012 г. составила 320–350 °С с выходом зимнего ДТ 88–90 %. В 2012–2014 гг. технология изменилась вследствие перестановки расположения катализаторов: теперь в реакторе Р-201 был загружен катализатор гидрообессеривания, в Р-202 катализатор депарафинизации, Р-203 – катализатор депарафинизации и обессеривания.

На НПЗ г. Кириши (ООО «Киришинефтеоргсинтез») в 2012 г. была введена установка Л-24-10/2000 для переработки смеси атмосферного газойля, прямогонных дизельных фракций и бензина висбрекинга. Она вырабатывает зимнее ДТ в течение 6 месяцев в году. Процесс проводится при высоком давлении 68–90 атм, температуре 345–415 °С. Установка состоит из трех реакторов (рис. 1.4). Первые два реактора Р-1 и Р-2 загружены катализатором гидроочистки, Р-3 – катализатором депарафинизации сверху, и катализатором гидроочистки снизу [28].

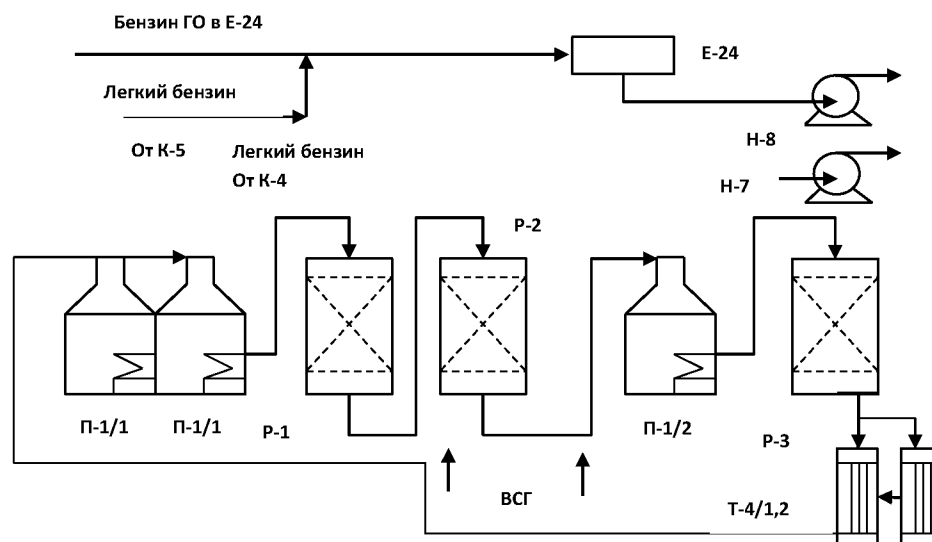


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема установки Л-24-10/2000

В процессе происходит крекинг n -парафинов $C_{12}-C_{27}$ с образованием n -парафинов C_5-C_{11} с последующим гидрированием непредельных углеводородов. Также в процессе проходят реакции изомеризации неразветвленных парафинов, циклизации олефинов в нафтены с дальнейшим дегидрированием в полиароматику.

На Ачинском НПЗ (АО «ВНК АНПЗ») процесс осуществляют по двухстадийной схеме установки ЛК-6у секции 300/1 (рис. 1.5) [28]. В зимнее время на данной установке производится зимнее ДТ класса 2 и арктическое ДТ класса 4 за счет включения в схему первых двух реакторов гидроочистки Р-301а и Р-301б и третьего реактора депарафинизации Р-301. Данная схема позволяет получать ДТ с содержанием серы менее 50 ppm.

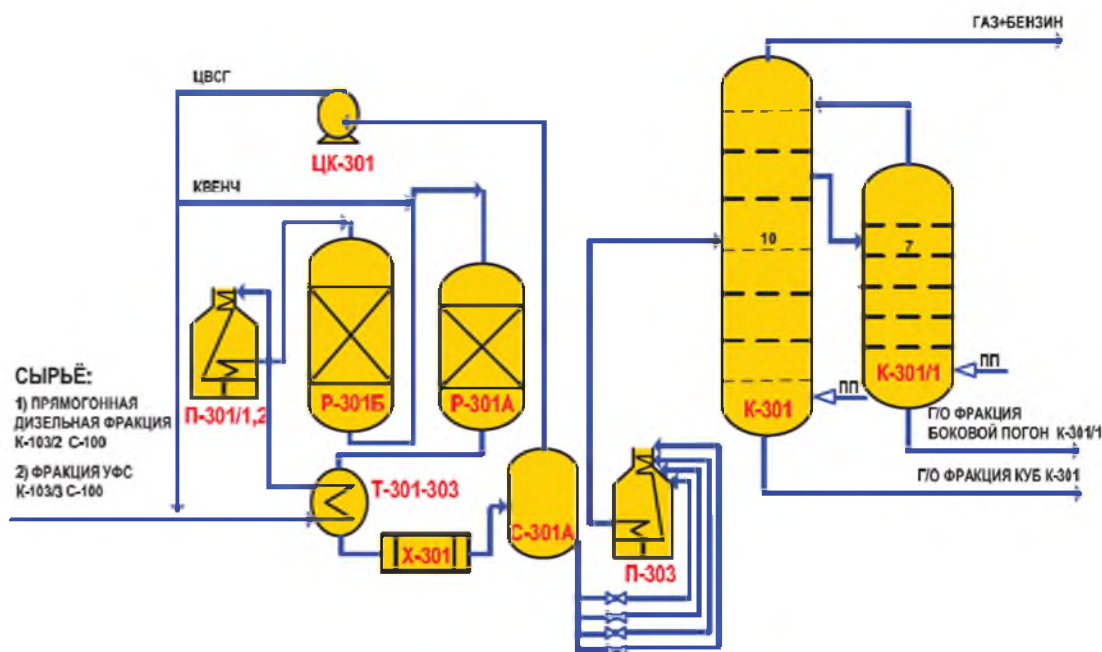


Рисунок 1.5 – Принципиальная схема секции С300/1 установки ЛК-6у:

Р-301А – реактор депарафинизации;

Р-301Б – реактор гидроочистки; П-301/1,2, П-303 – печь;

ЦК-301 циркуляционный компрессор ВСГ;

Т-301–303 – теплообменники реакторного блока; Х-301 – воздушный холодильник; С-301А – сепаратор высокого давления; К-301 – колонна стабилизации; К-301/1 – колонна стабилизации бокового погона К-301;

ЦВСГ – циркуляционный ВСГ; пп – перегретый водяной пар; г/о – гидроочищенная фракция

На Комсомольском НПЗ (ООО «РН Комсомольский НПЗ») в 2006 г. была построена установка глубокого облагораживания ДТ (рис. 1.6) [28]. Такая установка предназначена не только для гидрообессеривания ДТ, но и для его глубокой деароматизации. В реакторе гидрообессеривания содержится четыре слоя катализатора – обессеривания и деазотирования.

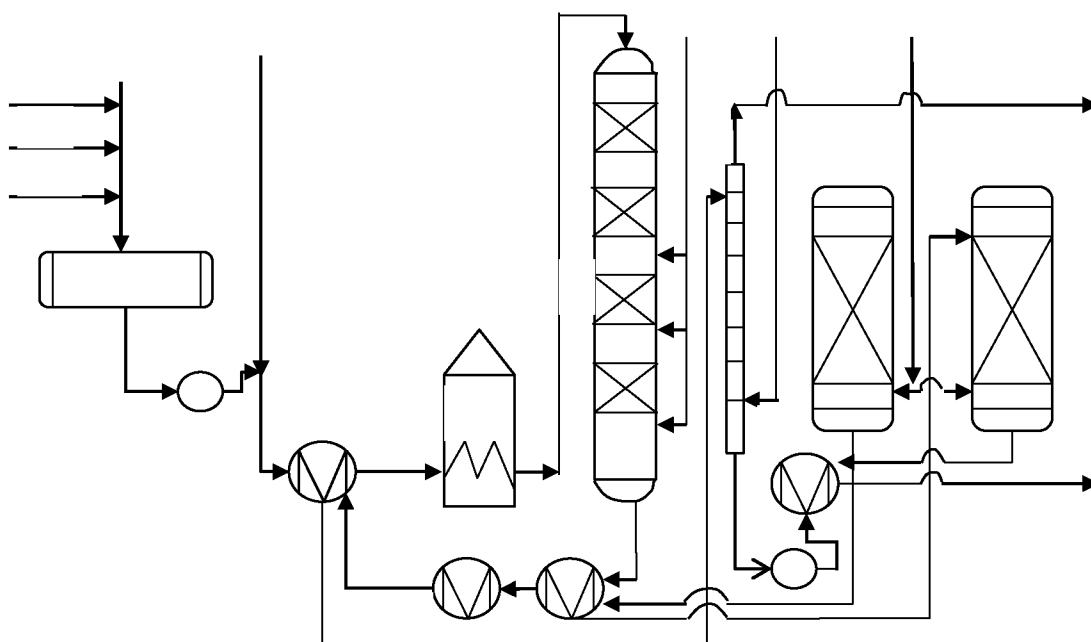


Рисунок 1.6 – Принципиальная схема установки глубокого гидрооблагораживания ДТ

1 – сырьевая емкость; 2 – теплообменник; 3 – печь нагрева сырья;
4,6,7 – реакторы первой, второй и третьей ступени; 5 – колонна отдувки сероводорода

Наиболее эффективная технология каталитической депарафинизации используется на Омском НПЗ (ОАО «Газпромнефть-Омск»). Эта технология учитывает влияние серо- и азотсодержащих соединений на дезактивацию катализатора. На первом этапе производства снижают содержание серы до 10 ppm на установке Л-24-9хРТ, а затем на установке Л-24/6 снижают низкотемпературные свойства ДТ на катализаторе «Крайтерион». Она состоит из трех ступеней и предназначена как для обессеривания, снижения температуры, так и для деароматизации. В настоящее время работает лишь реактор гидрообессеривания.

1.4 Постановка цели и задач исследования

Обзор литературы в части современного состояния производства ДТ и процесса каталитической депарафинизации, как наиболее современного

способа получения компонентов ДТ, пригодных для эксплуатации при низких температурах окружающей среды, показал, что ДТ зимних и арктических марок, соответствующих стандартам Евро-5, являются одними из наиболее востребованных продуктов нефтеперерабатывающей отрасли.

В настоящее время научные исследования в области процесса каталитической депарафинизации направлены на создание отечественных катализаторов, не уступающих по свойствам зарубежным аналогам, с целью импортозамещения в нефтеперерабатывающей отрасли. Исследование и повышение эффективности действующих технологий осуществляется экспериментальным путем на промышленных установках, а именно «интуитивным» подбором технологических параметров в зависимости от свойств и соотношений количества вовлекаемых в переработку потоков. Такой способ является достаточно затратным. Для решения задач повышения эффективности производства применяется метод математического моделирования, который позволяет без значительных материальных затрат прогнозировать оптимальные технологические параметры технологического процесса в зависимости от состава сырья.

Таким образом, целью данной работы является повышение эффективности процесса каталитической депарафинизации с использованием метода математического моделирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать влияние состава сырья на процесс каталитической депарафинизации;
- исследовать влияние расхода сырья на процесс каталитической депарафинизации;
- исследовать влияние температуры на процесс каталитической депарафинизации;
- оптимизировать технологический режим реактора депарафинизации.

2 Объект и методы исследования

2.2 Методы исследования

Производство современного топлива и продуктов нефтехимии полностью определяется каталитическими процессами переработки нефтяных фракций, от эффективности которых зависит общая эффективность работы нефтеперерабатывающих предприятий [28].

Каталитические процессы достаточно сложны, потому как охватывают огромное количество различных реакций, в которых участвует большое количество компонентов. В связи с этим, активно применяются современные средства и методы математического моделирования [28].

Математическое моделирование позволяет обеспечить адекватный перенос информации и ее анализ [31], позволяющий количественно или формализовано представить описание в виде системы уравнений.

В любой математической модели принимаются упрощения. Среди наиболее простых вариантов расчета каталитических реакторов можно выделить термодинамические подходы, метод, использующий время контакта, как критерий подобия, а также методы «черного ящика» [31].

Один из вариантов термодинамического подхода основан на применении констант равновесия химических реакций, рассчитанных на основании справочных данных. Этот метод основан на расчете свободной энергии Гиббса ΔG и затем констант равновесия реакций K_p на основании данных по их энтальпиям (ΔH) и энтропиям (ΔS) с использованием термодинамических данных по компонентам реакционной смеси и стехиометрического уравнения реакции [31].

Другим упрощенным вариантом расчета реакторов является метод, использующий время контакта, как критерий химического подобия реакционных систем. Этот метод основывается на экспериментальных данных о скоростях каталитических реакций и предполагает, что в промышленном

реакторе будут достигнуты те же скорости реакций, что и в лабораторном, при условии, что промышленный реактор будет работать при том же времени контакта [31].

Математические модели типа «черного ящика» построены на феноменологическом описании каталитических реакторов с помощью эмпирических зависимостей, основанных на статистике эксплуатации каталитического реактора и дающих численное описание характеристик его работы в зависимости от рабочих условий [31].

Для описания промышленного процесса каталитической депарафинизации в реакторе со стационарным слоем катализатора была использована модель реактора идеального вытеснения, представляющая собой систему дифференциальных уравнений материального баланса для каждого компонента и теплового баланса [30]:

$$\begin{cases} G \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} + G \cdot \frac{\partial C_i}{\partial V} = \sum_{j=1}^m a_j \cdot W_j \\ G \cdot \frac{\partial T}{\partial z} + G \cdot \frac{\partial T}{\partial V} = \frac{1}{\rho \cdot C_p^{см}} \sum_{j=1}^m Q_j \cdot a_j \cdot W_j \end{cases}$$

Начальные условия: $z = 0$: $C_i = C_{i,0}$; $T = T_0$; $V=0$; $C_i = C_{i,0}$; $T = T_0$, где z – объем переработанного сырья с момента загрузки свежего катализатора, м³; G – расход сырья, м³/час; $z = G \cdot t$ (t – время работы катализатора с момента загрузки свежего катализатора, ч); C_i – концентрация i -го компонента, моль/л; V – объем слоя катализатора, м³; a_j – активность катализатора в j -ой реакции; ρ – плотность смеси, кг/м³; $C_p^{см}$ – удельная теплоемкость смеси, Дж/(кг·К); Q_j – тепловой эффект j -ой реакции, Дж/моль; T – температура, К; W_j – скорость j -ой реакции, моль/(л·с), m – количество реакций [30].

Активность катализатора [30]:

$$a_i = A_j \times e^{-\alpha_j C_K},$$

где A_j , α_j – коэффициенты дезактивации; C_K – концентрация кокса, % мас.

Кинетические параметры модели, такие как предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса (k_0) и энергия активации реакции (E_a), были оценены путем решения обратной кинетической задачи, тем самым, учтено протекание всех возможных реакций [30].

К этапам составления математической модели относятся [28]: анализ экспериментальных данных с промышленной установки, изучение механизма реакций, протекающих на катализаторе; составление списка протекающих реакций; оценка термодинамической вероятности протекания полученных реакций, составление формализованной схемы превращений углеводородов и обоснование ее выбора; расчет реактора, выбор и обоснование гидродинамической модели; формирование системы дифференциальных уравнений кинетической модели; оценка кинетических параметров модели на основе экспериментальных данных; проверка адекватности модели.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

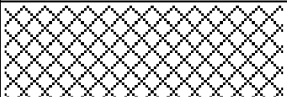
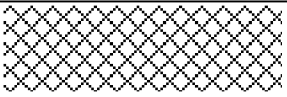
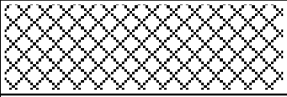





Разрабатываемый проект направлен на разработку и составление математической модели в виде программного продукта для исследования и, главным образом, оптимизации процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива.

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособной математической модели, отвечающей современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения, в виде программного продукта для исследования и оптимизации процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения




Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Для этого составлена карта сегментирования рынка услуг по использованию КМС на рис. 5.1.

Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения	 		

Проектные организации	 		
--------------------------	---	--	--

Рисунок 5.1 – Карта сегментирования рынка услуг по
использованию КМС

	- Aspen Technology, Inc., г. Кэмбридж
	- Schlumberger, г. Москва
	- Schneider Electric, г. Рюэй-Мальмезон

Как следует из рис. 5.1 данные компании занимаются, в основном, продажей своего программного обеспечения. Еще одним недочетом данных компаний являются то, что их разработки касаются, в большинстве случаев, процессов промышленной подготовки, а не переработки сырья.

Ни одна из указанных фирм не занимается разработкой КМС процесса каталитической депарафинизации.

Исходя из всего этого, можно сделать вывод, что наиболее перспективными на рынке КМС являются направления создания доступных по цене моделирующих систем, имеющих функции мониторинга и оптимизации действующих производств, в частности, процесса каталитической депарафинизации, а также возможность проведения прогнозирующих расчетов для действующих и строящихся производств. Такие системы могут быть применены как в качестве полноценных симуляторов, так и в качестве упрощенных тренажеров в образовательных целях.

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Анализ целесообразно проводить с помощью оценочной карты, представленной в табл. 5.1. Для сравнения были взяты конкурирующие

компьютерные симуляторы технологических процессов Aspen Hysys (K1) и GIBBS (K2).

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности промышленной установки каталитической депарафинизации	0,25	4	2	2	1,00	0,5	0,5
2. Удобство в эксплуатации	0,09	5	4	3	0,45	0,36	0,27
3. Энергоэкономичность производства дизельного топлива	0,06	5	3	1	0,30	0,18	0,06
4. Надежность	0,06	4	4	1	0,24	0,24	0,06
5. Безопасность	0,09	4	5	1	0,36	0,45	0,09
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,20	4	5	3	0,80	1,00	0,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	2	5	3	0,08	0,20	0,12
3. Цена	0,05	4	4	3	0,20	0,20	0,15
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,20
5. Финансирование научной разработки	0,05	4	5	4	0,20	0,25	0,20
6. Срок выхода на рынок	0,04	2	5	3	0,08	0,20	0,12
7. Наличие сертификации разработки	0,02	1	5	3	0,02	0,10	0,06
Итого	1,00	55	69	44	3,98	3,93	2,43

Повышение производительности установки каталитической депарафинизации заключается в использовании в качестве сырья побочных продуктов и, при этом, получения более качественного дизельного топлива. Проследить результаты возможно путем расчетов на модели, а не на производственной установке, что, в свою очередь, является энергоэкономичным решением. Удобство эксплуатации - программа, на которой реализуется КМС, находится в свободном доступе в сети Интернет, для расчетов достаточно нажать несколько необходимых кнопок в программе.

Надежность и безопасность обеспечиваются за счет отсутствия в работе взрыво- и огнеопасных веществ и оборудования.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [34]:

$$K = \sum B_i * B_i \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Судя из результатов табл.5.1, разрабатываемая модель является потенциально конкурентоспособной, так как имеет ряд преимуществ:

- чувствительность к составу перерабатываемого сырья.
- способность прогнозирования работы промышленных установок в динамическом режиме с учетом дезактивации катализатора
- оптимизация параметров с целью продления срока службы катализатора, что является важной частью капитальных затрат предприятия.
- достаточно простой и удобный интерфейс модели.

5.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [34].

Он проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз. На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, учитывающая взаимосвязи областей матрицы. Результаты первого и конечного этапов SWOT-анализа представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: С1. Отсутствие аналогичных математических моделей процесса каталитической депарафинизации С2. Чувствительность к изменению состава сырья С3. Быстрота проведения исследования С4. Возможность осуществления исследования без вмешательства в работу производства С5. Возможность оптимизации процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива	Слабые стороны проекта: Сл1. Недостаток экспериментальных образцов для проведения исследования Сл2. Длительность создания модели
Возможности: В1. Внедрение разработанной модели на предприятия нефтепереработки для оптимизации процесса производства дизельного топлива В2. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт	Повышение эффективности использования сырья на предприятии Благодаря использованию инновационной структуры ТПУ программа совершенствуется. Внедрение данной модели на предприятия является экономически выгодным, что способствует повышению спроса на разрабатываемый проект.	При внедрении данной модели на НПЗ, появится возможность своевременного получения необходимых экспериментальных данных, Внедрение модели на НПЗ обеспечит своевременное получение информации о сырьевых потоках повысит качество работы персонала и снизит длительность ведения процесса в связи с увеличением персонала.
Угрозы: У1. Отсутствие финансирования У2. Развитая конкуренция по внедрению других моделей на НПЗ	Развитие конкурентоспособности проекта, преимущественно, за счет экономической выгоды проекта, экологической безопасности и высокой ресурсоэффективности.	Из-за отсутствия финансирования ограничено создание масштабной экспериментальной установки. Недостаточность экспериментальных данных приводит к неконкурентоспособности разрабатываемого программного продукта.

С целью выявления соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды построена интерактивная матрица

проекта (второй этап), представленная в табл. 5.3–5.6.

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	+	0	-	+
	B2	+	-	+	-	-
	B3	+	-	-	-	-

Анализ интерактивной матрицы: B1C2C5, B2C1C3, B3C1.

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	+	-
	B2	-	+
	B3	-	-

Анализ интерактивной матрицы: B1Сл1, B2Сл2.

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	0	+	-	-	-

Анализ интерактивной матрицы: У1С1, У2С2.

Таблица 5.6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	+	-
	У2	+	+

Анализ интерактивной матрицы: У1У2Сл1, У2Сл2.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для проведения научного исследования составлен перечень этапов и работ, проведено распределение исполнителей по видам работ. Результаты представлены в табл. 5.7.

Таблица 5.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	5	Изучение литературы, термодинамический анализ реакций, составление формализованной схемы превращений	Бакалавр
	6	Разработка кинетической модели	Бакалавр, руководитель
	7	Проверка модели на адекватность	Руководитель
	8	Расчет результатов на разработанной математической модели	Бакалавр
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	12	Составление пояснительной записки	Бакалавр
<i>Проведение ОКР</i>			
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	13	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	14	Защита дипломной работы	Бакалавр

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{\text{ож}i}$ определяется по формуле [34]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Ожидаемая трудоемкость для этапов работы, приведенных в таблице 4.6, рассчитывается по формуле (2):

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4, \text{ чел.-дн.}$$

Для этапов 2-14 расчет аналогичен. Результаты в Приложении А.

Продолжительность каждой работы в рабочих днях [34]:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i} \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность каждого этапа работы приведенных в таблице 18 рассчитывается по формуле (3) [34]:

$$T_{pi} = \frac{1,4}{1} = 1,4$$

Для этапов 2-14 расчет аналогичен. Результаты в Приложении А.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведена в календарные дни. Для этого использована следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Продолжительность выполнения каждого этапа работы, приведенного в табл. 5.7 рассчитывается по формуле (4).

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,47 = 2,058 \approx 2$$

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 102 - 15} = 1,47$$

Все рассчитанные значения представлены в Приложении А.

На основе Приложения А построен календарный план-график, представленный в Приложении Б.

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

5.2.5 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расхи}}, \quad (6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расхи}}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 5.8 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед. с НДС, руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Образцы дизельного топлива	литр	20	40	60	39	39	39	780	1560	2340
Итого	Исполнение 1				Исполнение 2			Исполнение 3		
	780 руб.				1560 руб.			2340 руб.		

5.2.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Расчет затрат на приобретение программного обеспечения (ПО) и оборудования представлен в табл. 5.9.

Таблица 5.9 – Расчеты затрат на приобретение ПО

Наименование ПО и оборудования			Стоимость ПО и оборудования, руб.		
Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Хроматограф кристалл 5000	Хроматограф кристалл 5000	Хроматограф кристалл 5000	825300	825300	825300
Компьютер	Компьютер	Компьютер	86000	86000	86000
ПО MicrosoftOffice	ПО MicrosoftOffice	ПО MicrosoftOffice	29000	29000	29000
ПО Borland Delphi	ПО Borland Delphi	ПО Borland Delphi	438000	438000	438000
КМС «Депарафинизация ДТ»	-	-	470000	-	-
Итого:			1848300	1378300	1378300

5.2.7 Основная заработная плата исполнителей темы

Расчет основной заработной платы представлен в табл. 5.10.

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (7)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Таблица 5.10 – Расчёт основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по окладам, тыс. руб.
1	Разработка технического задания, выбор направления исследований, оценка результатов	Руководитель	19	1,08	20,52
2	Теоретические и экспериментальные исследования, расчет на разработанной модели, оформление отчетов по НИР	Бакалавр	54	0,411	22,194
Итого:					42,714

Основная заработная плата ($З_{осн}$) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле [34]:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (8)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [34]:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 5.11).

Таблица 5.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	117	117
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	92	92
Действительный годовой фонд рабочего времени	156	156

Месячный должностной оклад работника [34]:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (10)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от Z_{tc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2–0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{tc});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{tc} , руб.	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$,руб
Руководитель	18900	0,3	0,4	1,3	41769	2784,6	156	434397,6
Бакалавр	13800	0	0,2	1,3	21528	1435,2	156	223891,2
Итого								658288,8

5.2.8 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [34]:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (11)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15);

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Результаты расчета в таблице 5.13.

5.2.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [34]:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд медицинского страхования и пр.).

Согласно закону №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2018 году вводится пониженная ставка – 30–%.

Результаты расчета в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
1	2	3
Руководитель проекта	434397,6	65159,64

Продолжение табл. 5.13

1	2	3
Студент-дипломник	223891,2	33583,68
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Исполнение 1	149867,18	
Исполнение 2	149867,18	
Исполнение 3	149867,18	

5.2.10 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [34]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) * k_{\text{нр}} \quad (13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Результаты расчета в таблице 5.14.

5.2.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [36].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты	780	1560	2340
2. Затраты на специальное оборудование	1848300	1378300	1378300
3. Затраты по основной заработной плате	42714	42714	42714
4. Затраты по дополнительной заработной плате	6407,1	6407,1	6407,1
5. Отчисления во внебюджетные фонды	14736,3	14736,3	14736,3
6. Накладные расходы	306070	230994,8	231119,6
7. Бюджет затрат НТИ	2219007,4	1674712,2	1675617

5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин:

финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле [34]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (14),$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{2219007,4}{2219007,4} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{1674712,2}{2219007,4} = 0,75$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{1675617}{2219007,4} = 0,76$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля). Результаты расчета интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Повышение производительности промышленной установки каталитической депарафинизации	0,38	4	2	2
2. Удобство в эксплуатации	0,16	5	4	3
3. Энергоэкономичность производства дизельного топлива	0,2	5	3	1

4. Надежность	0,11	4	4	1
5. Безопасность	0,15	4	5	1
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,38 + 5 \cdot 0,16 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,11 + 4 \cdot 0,15 = 4,36$$

$$I_{p-исп2} = 2 \cdot 0,38 + 4 \cdot 0,16 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,11 + 5 \cdot 0,15 = 3,19$$

$$I_{p-исп3} = 2 \cdot 0,38 + 3 \cdot 0,16 + 1 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,11 + 1 \cdot 0,15 = 1,7$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} \quad (15)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,36}{1} = 4,36$$

$$I_{исп.2} = \frac{3,19}{0,75} = 4,25$$

$$I_{исп.3} = \frac{1,7}{0,76} = 2,24$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) [34]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (16)$$

Таблица 5.16 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Интегральный финансовый показатель разработки	1,00	0,75	0,76
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,36	3,19	1,7
Интегральный показатель эффективности	4,36	4,25	2,24
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,97	0,51

Из таблицы 5.16 можно видеть, что более эффективным исполнением научно-технического исследования является исполнение 1, так как реализуемая КМС позволяет оптимизировать производство, именно, дизельного топлива, в то время, как разработки конкурентов к этому не способны.

6 Социальная ответственность

Введение

Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является очень важным аспектом любой деятельности. Для этого применяется комплекс мер, содержащий правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [35].

Объектом исследования данной работы является промышленная установка каталитической депарафинизации дизельного топлива.

Установка предназначена для увеличения объема производства экологически чистого летнего и зимнего дизельного топлива со сверхнизким содержанием серы и полиароматических углеводородов, соответствующего требованиям Европейских стандартов к ДТ.

Целью работы является повышение эффективности производства низкозастывающего ДТ на основе варьирования состава сырья, вовлекаемого на установку каталитической депарафинизации, с использованием метода математического моделирования.

Результаты исследования, в частности оптимальные режимы работы реактора каталитической депарафинизации используются на ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез», г. Кириши; зарегистрированная программа расчета параметров процесса каталитической депарафинизации для электронно-вычислительных машин используется на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики Томского политехнического университета в учебной работе в рамках предмета «Компьютерные моделирующие системы» при дипломном и курсовом проектировании по направлениям 18.04.01 «Химическая технология» и 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

6.1 Производственная безопасность

При разработке и эксплуатации исследования могут возникать вредные и опасные факторы, представленные в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы, возникающие на производстве, включающего процесс каталитической депарафинизации, по ГОСТ 12.0.003-2015 [36]

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Технологическое оборудование и его обслуживание	1. Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны; 2. Отклонения показателей микроклимата; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Повышенный уровень вибрации; 5. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	1. Поражение электрическим током; 2. Пожаро- и взрывоопасность; 3. Термические опасности 4. Работа с сосудами под давлением.	- Параметры микроклиматических условий и содержания вредных веществ устанавливаются ГОСТ 12.1.005–88 - Параметры определения характеристик шума устанавливаются ГОСТ 12.1.003–2014 - Параметры вибробезопасности устанавливаются ГОСТ Р 12.1.012-90 - Параметры освещения устанавливаются СНиП 23-05-95 - Параметры электрического напряжения устанавливаются ГОСТ Р 12.1.019-2009

Продолжение табл. 6.1

1	2	3	4
			<p>- Опасность взрыва и пожара по ГОСТ 12.1.010–76</p> <p>- Опасность термических ожогов и оказание первой медицинской помощи устанавливаются по РД 153-34.0-03.702-99</p> <p>- Работа с сосудами под давлением устанавливается ПБ 03-576-2003</p>

6.1.1 Анализ возникающих вредных факторов

Повышенная загазованность рабочей зоны

Дизельное топливо по своей физико-химической природе в соответствии с ГОСТ 32511-2013 [37] представляют легковоспламеняющуюся жидкость (ЛВЖ) с температурой воспламенения 280-310 °С.

Требования безопасности дизельного топлива разных марок соответствуют данным, приведенным в табл. 6.2 [38].

Таблица 6.2 – Требования безопасности дизельного топлива

Характеристика	Значение
Плотность по воздуху, кг/м ³	850
Предельно-допустимая концентрация паров алифатических УВ, мг/м ³ В рабочей зоне	300
Класс опасности	4
Температура самовоспламенения, °С:	
- марки Л, Е	300
- марки З	310
- марки А	330

Дизельное топливо раздражает слизистую оболочку и кожу, вызывая ее поражение и возникновение кожных заболеваний. Постоянный контакт с топливом может вызвать острые воспаления и хронические экземы.

Для индивидуальной защиты в местах с содержанием паров алифатических углеводородов, превышающим ПДК, разрешается работать только с применением средств защиты органов дыхания [37]: кратковременно-фильтрующих противогазов с коробкой марки БКФ.

Для защиты кожи рук и глаз применяют защитные рукавицы, перчатки, мази пасты и очки, соответственно.

Для коллективной защиты помещения должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ГОСТ 12.4.021-75.

Отклонения показателей микроклимата

Основными параметрами микроклимата является температура, относительная влажность и скорость воздуха, интенсивность теплового излучения.

Выполняемая работа относится к категории Ia по тяжести выполняемых работ, производится сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением. Для данной категории работ определены оптимальные и допустимые границы основных параметров микроклимата, которые приведены в табл. 6.3 и 6.4 [39].

Таблица 6.3 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia	23-25	22-26	60-40	0,1

Микроклимат оказывает влияние на самочувствие человека, его трудоспособность и протекания физиологических процессов в течение 8-ми часовой рабочей смены.

С целью защиты персонала устанавливаются системы естественной и искусственной вентиляции.

Таблица 6.4 – Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	Ia	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2

Повышенный уровень шума на рабочем месте

Источниками производственного шума могут служить технологическое оборудование, инструменты или машины.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты [40].

Нормирующей характеристикой постоянного шума на рабочем месте является уровень звуковых давлений в октавных полосах, составляющий 80 дБА [40].

Для измерения уровня шума применяют шумомеры. Для защиты от шума используются ограждающие конструкции с требуемой звукоизоляцией; звукопоглощающие конструкции, звукоизолирующие кожухи на шумных агрегатах и др.

Повышенный уровень вибрации

Источниками вибрации на производственном объекте являются насосы, технологическая установка, а также транспорт при перемещении операторов по территории завода.

Длительное вибрационное воздействие может привести к снижению работоспособности, нарушению функций центральной нервной системы, опорно-двигательного аппарата и др. [41].

Гигиенические допустимые уровни вибрации регламентируют ГОСТ 12.1.012-90 "Вибрационная безопасность. Общие требования", а также СН 2.2.4/2.1.8.566–96 по значениям виброускорения, виброскорости и их логарифмических уровней в децибелах.

Для снижения воздействия вибрации на работников необходимо размещение оборудования и машин с минимизацией уровней вибрации; введением ограждений и средств виброзащиты на рабочих местах; введением режимов отдыха; санитарно-профилактическими мероприятиями.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Для химической промышленности устанавливаются нормы освещенности, представленные в табл.6.5 [42].

Таблица 6.5 – Нормы освещенности рабочих мест по ГОСТ Р 55710–2013

Наименование помещений, зрительной работы и вида деятельности	$E_{\text{экс, лк}}$	U_0 , не менее	URG, не более	R_a , не менее	K_p , %, не более
Производственные процессы с дистанционным обслуживанием	50	0,40	-	20	-
Процессы с частичным применением ручного труда	150		28	40	
Постоянная ручная работа на производственных установках	300	0,60	22	80	20

В соответствии с [43] на рабочем месте необходимо проведение нормированного искусственного освещения с использованием необходимых ламп по шкале освещенности.

6.1.2 Анализ возникающих опасных факторов

Поражение электрическим током

Источниками электрической опасности могут служить оборудование, питающееся от сети, электрические сети и др.

При нарушении правил эксплуатации или неисправности электрооборудования возникает опасность воздействия электрического тока на человека. Электробезопасность обеспечивается в соответствии с [44] и относится к особо опасной категории.

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения электрическим током являются:

- защитное зануление;
- защитное заземление;
- электрическое разделение сети;
- изоляция токоведущих частей;
- оградительные устройства и другое.

Используются электрозащитные средства, такие как: изолирующие штанги, клещи (для работы с заземлением и предохранителями); изолирующие устройства; диэлектрические перчатки, галоши, ковры, накладки; экранирующие комплекты; оградительные устройства и диэлектрические колпаки; плакаты и знаки безопасности и т.д.

Пожаро- и взрывоопасность

Причины возникновения пожаровзрывоопасной ситуации:

- Разгерметизация трубопроводов в местах соединения;
- Проведение огневых работ без первичных средств пожаротушения;
- Разгерметизация оборудования с возгоранием;
- Большое количество резервуаров, емкостей и аппаратов, в которых имеются пожароопасные продукты под высоким давлением и высокой температуре;
- Высокая теплота сгорания веществ и материалов;

- Использование неисправного оборудования;
- Нарушение технологического режима;
- Пуск неисправной технологической линии (аппарата) установки;
- Нарушение правил ремонтных работ;
- Несоблюдение правил остановки технологической установки [45].

В соответствии с Федеральным Законом от 22.07.2008 [46] система обеспечения пожарной защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, а также комплекс необходимых мероприятий по обеспечению безопасности.

Производство оснащается первичными средствами пожаротушения: огнетушителями, ящиками с песком, асбестовым полотном, грубошерстной тканью, кошмой, пожарными ведрами, совковыми лопатами, штыковыми лопатами, пожарным инструментом. Проводится первичный инструктаж по технике безопасности и правилам пользования средствами пожаротушения. Устанавливаются системы пожарной сигнализации, оповещения и управления при эвакуации.

Термические опасности

Источником термической опасности в соответствии с РД 153-34.0-03.702-99 могут являться нагретые поверхности узлов электрооборудования и гидрооборудования.

После контакта с данным видом термической опасности, у человека возникает покраснение кожи, образуются волдыри, повреждается слой эпидермиса [47].

Для защиты рабочих от термической опасности изолируются трубные обвязки, установленные рядом с рабочим местом оператора.

Работа с сосудами под давлением

В соответствии с ПБ 03-576-03 к сосудам, работающим под давлением, относят герметически закрытые емкости для ведения технологических процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением распространяются на сосуды, работающие под давлением более $0,7 \text{ кг/см}^2$.

На каждый сосуд, работающий под давлением, на видном месте должна быть прикреплена металлическая пластина с нанесёнными клеймами следующих паспортных данных:

- наименование или обозначение сосуда;
- рабочее давление, МПа (кг/см^2);
- расчётное давление, МПа (кг/см^2);
- давление при гидроиспытании, МПа (кг/см^2);
- допустимая максимальная и (или) минимальная рабочая температура стенки, °С.

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуда должны быть оборудованы приборами контроля давления и температуры среды, предохранительными клапанами, запорной арматурой.

6.2 Экологическая безопасность

6.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Нефтеперерабатывающее производство отрицательно влияет на атмосферу путем сброса газовых, жидких или твердых отходов.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия таких вредных газов, как оксид углерода и серы указаны в [48, 49].

Защита селитебной зоны

По СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 исследуемый промышленный объект относится к производству по переработки нефти, что соответствует I классу опасности. Ориентировочный размер санитарно-защитной зоны составляет 1000 м.

В таблице 6.6 представлены рекомендуемые минимальные расстояния от магистральных трубопроводов для транспортирования нефти [50].

Таблица 6.6 – Рекомендуемые минимальные расстояния от магистральных трубопроводов для транспортирования нефти по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03

Элементы застройки	Расстояние в м при диаметре труб, мм			
	До 300	300-600	600-1000	1000-1400
Города и поселки	75	100	150	200
Отдельные малоэтажные жилища	50	50	75	100
Гидротехнические сооружения	300	300	300	300
Водозаборы	3000	3000	3000	3000

Воздействие объекта на атмосферу

Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) являются источниками загрязнения атмосферного воздуха. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия вредных веществ указаны в табл. 6.7.

Таблица 6.7 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест по ГН 2.1.6.1338– 03 [51]

Наименование вещества	Предельно-допустимые концентрации, мг/м ³		Класс опасности
	Максимальная разовая	Среднесуточная	
Азот (II) оксид	0,2	0,04	3
Азота диоксид	0,4	0,06	3
Сера диоксид	0,5	0,05	3
Углерода оксид	5,0	3,0	4
Дигидросульфид	0,008	-	3

Воздействие объекта на гидросферу

НПЗ относятся к предприятиям, которые потребляют огромное количество водных ресурсов.

В зависимости от источника образования сточные воды могут быть:

- Нейтральными – дренаж из аппаратов, смыв полов в производственных помещениях, ливневые воды с площадок аппаратуры

и т.п, концентрация которых составляет 5-8 г/л, а содержание солей 700-1500 мг/л;

– Сероводородсодержащими, состоящие из технологического конденсата с установок гидроочистки, крекинга и включающие в себя фенол и аммиак.

Воздействие объекта на литосферу

На предприятии в процессе производства образуется около 20 тонн твердых отходов, содержащих в своем составе до 20 % смеси углеводородов и 55 % воды. Таким образом, нефтеперерабатывающее предприятие "вырабатывают" более 100 т в сутки твердых, нефтесодержащих и пожароопасных отходов. Способы утилизации отходов представлены в табл. 6.8.

Таблица 6.8 – Утилизация твердых отходов [52]

Наименование отхода	Место складирования, транспортировка	Периодичность образования	Место захоронения, утилизация
1	2	3	4
Нефтешлам при чистке аппаратов	Специально оборудованная площадка с металлическими контейнерами для сбора отходов.	В период ремонта и чистки оборудования.	Вывоз на специально отведенное место для захоронения.
Прочие отходы нефтепродуктов, продуктов (грунт, загрязненный нефтепродуктами)	Места накопления отсутствуют	Периодически	Накопление не осуществляется. Сразу после образования вывозится для обезвреживания на шламонакопитель ВГНМ ООО «ССЭ».

Продолжение табл.6.8

1	2	3	4
Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный) *	В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.7м3, 3 шт.)	1 неделя	Накопление осуществляется в металлических контейнерах. По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО.
Отработанный катализатор	Затаривается в металлические бочки	По истечению срока службы	Отправляется на переработку

6.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Основополагающей мерой для уже существующих и строящихся производств является нормирование уровней энергетического, химического и других загрязнений, превышение которых недопустимо в той или иной местности [53].

Для борьбы с загрязнением атмосферы на каталитической установке применяют следующие меры:

- воздух, с компрессорных установок проходит очистку в центробежных циклонах, после чего сбрасывается в атмосферу;
- газы, которые не могут быть использованы в дальнейшем для переработки, подаются на факельную установку;
- совершенствование производства и создания новых технологий (например, уменьшение ароматических углеводородов в бензине);
- каталитический дожиг выбросов;
- использование котлов утилизаторов для утилизации тепла отходящих газов с целью снижения теплового загрязнения атмосферы;

- сооружение линий аварийных сбросов давления в факельную линию.

Для предотвращения попадания вредных веществ в водоемы за пределы производственной площадки, предусмотрено:

- Дренажные емкости для сбора возможных разливов продукта и загрязнения при этом дождевых и талых вод и последующем отведении их в систему ППД для совместного использования в технологическом процессе.
- Обвалование площадок, где возможен разлив нефтепродукта;

Сточные воды канализации проходят механическую очистку и доочистку на биологических очистных сооружениях завода [54].

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Исследуемый процесс проводится с использованием оборудования, работающего при высоких давлениях (7-8 МПа) и высоких температурах. По различным причинам, которые могут включать в себя разгерметизацию оборудования, физический износ аппаратуры, скопление газов.

На заводе возможны взрывы топливновоздушных смесей или парогазовоздушного облака, которые могут воспламеняться и распространять пожар на большие расстояния. Это может происходить при испарении разлившейся горючей жидкости – нефти, бензина, ароматики и т.д. При взрыве аппаратов под давлением в энергию взрыва переходит не только химическая энергия горючего газа, но и потенциальная энергия сжатого газа [55]. На установке процесс ведется в среде водородсодержащего газа и сероводорода, что может приводить к возникновению межкристаллитной водородной и сероводородной коррозии оборудования и трубопроводов, что в свою очередь приводит к разгерметизации оборудования. Условия проведения

технологического процесса - высокие температура и давление - усиливают коррозию.

При взрыве или разгерметизации оборудования может произойти утечка жидких промежуточных или конечных продуктов установки с возможностью их попадания в атмосферу или гидросферу. Также в воздух могут попасть опасные и вредные вещества, такие как оксиды серы или азота, а также сероводородный газ. Это может привести к распространению токсичных веществ по воздуху в близлежащие населенные пункты, стать причиной распространения респираторных и других заболеваний.

6.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

На рабочем месте исследователя

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты [56]. В помещении размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, схематичный план эвакуации людей при пожаре. Согласно Статье 11 [57] курение в помещении запрещено. Определен порядок хранения и уборки отходов химических веществ, так как они используются рядом с рабочим местом. В соответствии с требованиями пожарной безопасности и охраны труда, проводится регулярный инструктаж и проверка знаний по технике безопасности на рабочем месте. Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители, лопаты, ящики с песком, асбестовые одеяла.

В случае возникновения пожара, необходимо обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. При возгорании электроприбора – накрыть его асбестовым одеялом или другим плотным материалом и дожидаться прекращения горения. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем. Если масштабы возгорания велики, то необходимо закрыть дверь в горящее

помещение, чтобы снизить скорость распространения огня, соблюдать спокойствие и эвакуироваться.

На производстве получения дизельного топлива

Для обеспечения безаварийной работы установки и достижения минимального уровня взрывопожароопасности процесса предусмотрены следующие мероприятия:

- все стадии технологического процесса непрерывны и склонны к устойчивому протеканию;
- при соблюдении правил эксплуатации процесс не обладает возможностью взрыва внутри технологической аппаратуры;
- на установке отсутствуют открытые поверхности аппаратов и трубопроводов с температурой выше температуры самовоспламенения обрабатываемых веществ;
- контроль и управление процессом осуществляется автоматически и дистанционно из операторной с использованием электронной системы приборов;
- предусмотрены система аварийного освобождения аппаратов от нефтепродукта в аварийную емкость и аварийный сброс на факел;
- на наружной установке, где расположено оборудование, в котором обращаются взрывопожароопасные вещества, предусмотрены датчики загазованности, сигналы от которых поступают в операторную.

В соответствии с требованием норм [58] по пожаротушению на установке должны быть предусмотрены первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация.

Согласно технологическому регламенту установки предусмотрены следующие средства пожаротушения:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОХП-10, корюшковые ОПУ-10, ОПС-10г, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);
- стационарная система пенотушения открытой насосной;
- водяная оросительная система колонных аппаратов;
- лафетные стволы на лафетных вышках (4 вышки);
- пожарные краны в помещении компрессорной.
- для печей предусмотрена система паротушения, а вокруг печей предусмотрена паровая завеса, включающаяся автоматически по сигналу загазованности на наружной установке.

Предотвращение распространения пожара на предприятии – это сложная задача, так как персоналу необходимо грамотно определить истинную причину возникновения пожара и быстро на нее среагировать. Действиями персонала и технических работников при возникновении пожара являются:

- Немедленное оповещение пожарных служб о происшествии;
- Принятие усиленных мер по эвакуации людей с одновременным установлением причины пожара и его тушением с помощью всех перечисленных выше средств.

Для локализации проливов опасных веществ и предотвращения их испарения и воспламенения применяется покрытие розливов пеной, песком, водяным паром, асбестовым полотном.

Для исключения растекания нефтепродуктов по территории установки группы аппаратов имеют защитные ограждения в виде бетонных бортиков.

Для исключения разгерметизации оборудования по причине коррозии на установке предусмотрены следующие решения: конструкционные материалы, применяемые на установке, по коррозионной стойкости и работоспособности в условиях высоких давлений и температур соответствуют условиям эксплуатации; реакторы имеют внутреннее защитное покрытие; с целью своевременного проведения ремонта установки осуществляется контроль за

соблюдением графиков планово-предупредительных ремонтов (ППР) оборудования установки со стороны технических служб; после проведенных ремонтов проводится опрессовка технологических трубопроводов, проверка аппаратов на герметичность.

Для исключения разгерметизации оборудования и трубопроводов с целью предупреждения аварийных выбросов опасных веществ на установке предусмотрено:

- постоянный контроль параметров технологического режима установки, не допускающий превышения реальных значений температур и давлений над паспортными данными;
- применяется прокладочный материал высокого качества (паронит, фторопласт, алюминий), обеспечивающий необходимую герметичность разъемных соединений в течение межремонтного периода эксплуатации установки;
- защита оборудования от превышения давления осуществляется системой предохранительных клапанов, сброс от которых производится в закрытую факельную систему через факельную емкость.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основные требования, направленные на регулирование и создание безопасных условий труда, описаны в Трудовом Кодексе РФ [35] . Согласно данному Кодексу:

1. На тяжелых и физических работах с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается применение труда женщин.

2. Лицам, не достигших восемнадцатилетнего возраста, работа с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается.

3. При приеме на работу с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда проводится обязательные медицинские осмотры работников [35].

Таким образом, при отнесении условий труда к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) работникам, занятым на рабочем месте, которое относится к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) должны предоставляться компенсации не ниже предусмотренных постановлением Правительства РФ от 20.11.2008 № 870.

В соответствии с п. 1 данного постановления необходимо становить работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда, по результатам аттестации рабочих мест следующие компенсации [35]:

- сокращенная продолжительность рабочего времени - не более 36 часов в неделю в соответствии со статьей 92 Трудового кодекса Российской Федерации;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск - не менее 7 календарных дней;
- повышение оплаты труда - не менее 4 процентов тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Заключение

В ходе анализа литературы было выявлено, что наиболее перспективным процессом производства ДТ является процесс каталитической депарафинизации, позволяющий в достаточно широких пределах преобразовывать химический состав исходного сырья и значительно повысить степень его использования.

Ужесточение требований к качеству ДТ способствует модернизации технологий каталитической депарафинизации. Однако, соответствие требованиям стандартов, зачастую, приводит к снижению эффективности производства.

Для решения задач повышения эффективности действующего производства и соответствия качества ДТ современным требованиям применяется метод математического моделирования, который позволяет без значительных материальных затрат прогнозировать оптимальные технологические параметры технологического процесса в зависимости от состава сырья.

Применение предложенной математической модели процесса каталитической депарафинизации позволяет учитывать влияние технологических режимов работы установки и состав перерабатываемого сырья в зависимости от требуемого качества получаемого ДТ зимних и арктических марок.

Исследования на математической модели показали, что сырьевую базу установки каталитической депарафинизации для производства ДТ зимних и арктических марок можно расширить за счет дополнительного вовлечения углеводородов среднестиллятной фракции ($C_{14}-C_{20}$) с установки выделения парафинов «Парекс», что позволяет увеличить содержание н-парафинов $C_{14}-C_{20}$ в сырье установки с 19,90 % до 28,61 %. При этом в зависимости от расхода дополнительно вовлекаемой фракции углеводородов $C_{14}-C_{20}$ от 70 до 90 м³/час

увеличивается выработка дизельной фракции на 60-77 м³/ч для получения зимнего топлива и на 52-68 м³/ч – арктического топлива заданного качества.

Применение модели позволило определить оптимальный температурный режим эксплуатации катализатора при изменении состава и расхода сырья на установку. Так, для производства зимних видов топлив необходимо поддерживать температуры 355-357 °С, арктических – 363-365 °С. При этом увеличение расхода вовлекаемой фракции с 70 до 90 м³/час приводит к повышению температуры в реакторе на 2 °С, а выработка дизельной фракции увеличивается на 8 %.

Перераспределение сырьевых и продуктовых потоков между установками каталитической депарафинизации и установки выделения парафинов в условиях единого производства позволяет увеличить полноту использования потенциала углеводородного сырья и повысить глубину его переработки.

Список публикаций

1. Frantsina E. V. , Belinskaya N. S. , Afanasjeva D. A. Prediction of resource base increase of catalytic dewaxing by a mathematical modeling method // Petroleum and Coal. – 2017. – Vol. 59. – №. 1. – p. 82-88.
2. Францина Е. В. , Белинская Н. С. , Луценко А. -. , Майлин М. В. , Афанасьева Д. А. Влияние технологических параметров процесса каталитической депарафинизации среднестиллятных фракций на его эффективность // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2017. – №. 11. – С. 25-31.
3. Францина Е. В. , Афанасьева Д. А. , Иванчина Э. Д. , Ивашкина (Михайлова) Е. Н. , Белинская Н. С. Прогнозирование увеличения сырьевой базы процесса каталитической депарафинизации методом математического моделирования // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2017. – №. 3. – С. 33-41.
4. Афанасьева Д. А. , Белинская Н. С. , Францина Е. В. , Попова Н. В. Моделирующая система процесса депарафинизации дизельных топлив // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 7-11 Ноября 2016. – Томск: ТПУ, 2017. – Т. 1. – С. 200-201.
5. Попова Н. В. , Белинская Н. С. , Францина Е. В. , Афанасьева Д. А. Математическое моделирование промышленной установки каталитической депарафинизации дизельных топлив // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 7-11 Ноября 2016. – Томск: ТПУ, 2017. – Т. 1. – С. 152-153.
6. Афанасьева Д. А. Повышение глубины переработки углеводородного сырья для получения дизельного топлива // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-

практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 29 Мая-1 Июня 2017. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – С. 273-274.

7. Афанасьева Д. А. , Белинская Н. С. , Францина Е. В. Повышение глубины переработки сырья для получения дизельного топлива зимних и арктических марок // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 7-й Международной научно-технической конференции, Омск, 24-28 Апреля 2017. – Омск: ОмГТУ, 2017. – С. 27-28.

8. Афанасьева Д. А. , Попова Н. В. Увеличение сырьевой базы производства дизельных топлив зимних и арктических марок в процессе каталитической депарафинизации // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина , Томск, 3-7 Апреля 2017. – Томск: ТПУ, 2017. – Т. 2 – С. 289-291.

9. Веревкин Е. В. , Майлин М. В. , Афанасьева Д. А. Исследование эффективности процесса производства дизельных топлив с использованием моделирующей системы // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина , Томск, 3-7 Апреля 2017. – Томск: ТПУ, 2017. – Т. 2. – С. 298-299.

10. Афанасьева Д. А. , Францина Е. В. Моделирующая система процесса каталитической депарафинизации средних дистиллятов // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П.Кулева, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, Томск, 17-20 Мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016. – С. 318-320.

11. Белинская Н. С. , Францина Е. В. , Ивашкина (Михайлова) Е. Н. , Афанасьева Д. А. Вовлечение денормализата установки извлечения парафинов в качестве сырья установки депарафинизации дизельных топлив // Переработка

углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтерские чтения): материалы Всероссийской научной конференции, Самара, 3-5 Ноября 2016. – Самара: СамГТУ, 2016. – С. 34-35.

12. Афанасьева Д. А. , Белинская Н. С. , Францина Е. В. , Иванчина Э. Д. Повышение ресурсоэффективности использования сырья с помощью модели процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив // III Российский конгресс по катализу "РОСКАТАЛИЗ": сборник тезисов, Нижний Новгород, 22-26 Мая 2017. – Новосибирск: Изд-во Института катализа СО РАН, 2017. – С. 643-644.

Список использованных источников

1. Кузора И.Е., Дубровский Д.А., Черепанов В.Д., Дьячкина С.Г. Использование среднестиллятных продуктов вторичной переработки нефти для увеличения производства дизельного топлива ЕВРО // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2016. – № 3. – С. 18-24.
2. Груданова А.И. Повышение эффективности производства низкозастывающих дизельных топлив регулированием состава катализаторов термогидрокаталитических процессов: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2015. 182 с.
3. Фалеев С.А., Белинская Н.С., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Францина Е.В., Силко Г.Ю. Оптимизация углеводородного состава сырья на установках риформинга и гидродепарафинизации методом математического моделирования // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2013. – № 10. – С. 14-18.
4. Белинская Н.С., Силко Г.Ю., Францина Е.В., Ивашкина Е.Н., Иванчина Э.Д. Разработка формализованной схемы превращений углеводородов и кинетической модели процесса гидродепарафинизации дизельных топлив // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 3. – С. 129-133.
5. Уразаева А.А., Сидоров Г.М., Валинуров Р.Р., Азнабаев Ш.Т. Улучшение низкотемпературных свойств дизельного топлива // Современные наукоемкие технологии. Технические науки. – 2017. – № 6. – С. 93-98.
6. Хавкин В.А., Гуляева Л.А., Винокуров Б.В. Отечественные гидрогенизационные процессы на НПЗ России // Мир нефтепродуктов. – 2014. – № 8. – С. 4-12.
7. Митусова Т.Н., Лобашева М.М., Недайборщ А.С., Титаренко М.А. Производство арктического дизельного топлива в России // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2015. – № 12. – С. 4-7.
8. Гуляева Л.А., Шмелькова О.И., Хавкин В.А., Красильникова Л.А., Болдушевский Р.Э. Получение моторных топлив для холодных климатических

условий при совместной переработке растительного и нефтяного сырья // Химия и технология топлив и масел. – 2016. – № 5. – С. 9-14.

9. Болдушевский Р.Э., Капустин В.М., Чернышева Е.А., Гуляева Л.А., Груданова А.И., Столоногова Т.И. Исследование эффективности процесса каталитической депарафинизации с использованием цеолитсодержащего катализатора с добавкой железа // Катализ в нефтеперерабатывающей промышленности. – 2015. – № 4. – С. 79-85.

10. Герасимов Д.Н., Фадеев В.В., Логинова А.Н., Лысенко С.В. Гидроизомеризация длинноцепочечных парафинов: механизм и катализаторы. Часть 1 // Катализ в нефтеперерабатывающей промышленности. – 2015. – № 1. – С. 27-54.

11. Герасимов Д.Н., Фадеев В.В., Логинова А.Н., Лысенко С.В. Гидроизомеризация длинноцепочечных парафинов: механизм и катализаторы. Часть 2 // Катализ в нефтеперерабатывающей промышленности. – 2015. – № 2. – С. 30-45.

12. Герасимов Д.Н. Изодепарафинизация нефтяного сырья на платиновых цеолитсодержащих катализаторах: дис ... канд. хим. наук. М., 2014. 134 с.

13. Камешков А.В. Разработка технологии получения экологически чистых зимнего и арктического дизельных топлив: дис ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2016. 160 с.

14. Камешков А.В., Гайле А.А. Получение дизельных топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами (обзор) // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2015. – № 29. – С. 49-60.

15. Камешков А.В., Бурмистров С.Ю., Абрамова Л.В., Тишов Н.В., Симанова Т.А. Оптимизация производства различных видов зимнего дизельного топлива путем сочетания процесса депарафинизации и обработки депрессорно-диспергирующими присадками на базе ООО «КИНЕФ» // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – № 3. – С. 22-26.

16. Кузора И.Е., Марущенко И.Ю., Чалбышев С.А., Алиев Р.Р., Коваленко М.В., Гурдин В.И., Лысанов Д.В., Симонов К.К., Целютина М.И., Кирюхина С.А. Организация производства в ОАО «АНХК» дизельных топлив, соответствующих современным требованиям // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2015. – № 6. – С. 9-11.
17. Киселева Т.П., Алиев Р.Р., Посохова О.М., Целютина М.И. Каталитическая депарафинизация: состояние и перспективы. Часть 1. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – № 1. – С. 3-8.
18. Киселева Т.П., Алиев Р.Р., Посохова О.М., Целютина М.И. Каталитическая депарафинизация: состояние и перспективы. Часть 2. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – № 2. – С. 3-8.
19. Никитин А.А., Карасев Е.Н., Дутлов Э.В., Пискунов А.В., Борисанов Д.В. Разработка способа увеличения выпуска дизельного топлива зимнего в ОАО «Славнефть-ЯНОС» // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2015. – № 9. – С. 14-17.
20. Бурюкин Ф.А., Косицина С.С., Савич С.А., Смирнова Е.В., Хандархаев С.В. Улучшение качества низкозастывающих дизельных топлив в процессе каталитической гидродепарафинизации // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325. – № 3. – С. 14-22.
21. Капустин В.М. Химия и технология переработки нефти. М.: Химия, 2013. 496 с.
22. Валинуров Р.Р., Уразаева А.А., Азнабаев Ш.Т. Депарафинизация дизельных фракций // Приоритетные направления развития науки, техники и технологий: сборник материалов Международной научно-практической конференции. – 2016. – Т. 2. – С. 204-207.
23. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011. О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту от 18.10.2011.

24. ГОСТ Р 52368-2005. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. М., 2009, 34 с. (Стандартинформ).
25. ГОСТ Р 55475-2013 Топливо дизельное зимнее и арктическое депарафинированное. Технические условия. М., 2013, 12 с. (Стандартинформ).
26. ГОСТ 32511-2013. Топливо дизельное. Технические условия. М., 2013, 27 с. (Стандартинформ).
27. Афанасьев И.П., Ишмурзин А.В., Талалаев С.Ю., Лебедев Б.Л. Разработка промышленной технологии производства зимнего дизельного топлива смешиванием дизельной и керосиновой фракции // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2014. – № 4. – С. 10-18.
28. Белинская Н.С. Совершенствование работы сопряженной системы «реактор – колонна стабилизации» процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций нефти методом математического моделирования: дис ... канд. техн. наук. Томск, 2015. 170 с.
29. Лебедев Б.Л., Афанасьев И.П., Ишмурзин А.В., Талалаев С.Ю. Производство зимнего дизельного топлива в России // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2015. – № 4. – С. 19-27.
30. Францина Е.В., Белинская Н.С., Афанасьева Д.А., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н. Прогнозирование увеличения сырьевой базы процесса каталитической депарафинизации методом математического моделирования // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2017. – № 3. – С. 33-41.
31. Загоруйко А.Н. Основы математического моделирования каталитических реакторов: учебно-методическое пособие. Новосибирск: НГУ, 2015. 64 с.
32. Белинская Н.С., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Силко Г.Ю., Францина Е.В. Оптимизация технологического режима установки гидродепарафинизации дизельных топлив методом математического моделирования // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57, № 11. – С. 90-92.

33. Иванчина Э.Д, Белинская Н.С., Францина Е.В., Попова Н.В., Кошутин С.Н. Математическое моделирование и оптимизация процесса каталитической депарафинизации дизельных фракция и атмосферного газойля // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2016. – № 6. – С. 37-46.
34. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – 73 с.
35. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ.
36. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 01.01.76. – М., 2004, 4 с. (Стандартинформ).
37. ГОСТ 32511–2013. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. Введ. 01.01.2015. – М., 2014, 17 с. (Стандартинформ).
38. ГОСТ 12.1.007–76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Введ. 01.01.1977. – М., 2007, 6 с. (Стандартинформ).
39. СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы" (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996 N 21). – М.: Минздрав России, 2001. – 20 с.
40. ГОСТ 12.1.003–2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. Введ. 01.11.2015. – М., 2015, 24 с. (Стандартинформ).
41. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда : учебное пособие для вузов / П. П. Кукин [и др.]. – 5-е изд., стер. – Москва: Высшая школа, 2009. – 335 с.

42. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. Введ. 01.07.2014. – М., 2014, 17 с. (Стандартинформ).

43. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации от 06.04.2003 г. – М.: Минздрав России, 2003. – С. 87-114.

44. ГОСТ Р 12.0.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. Введ. 01.01.11. – М., 2010, 32 с. (Стандартинформ).

45. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. Введ. 01.07.1992. - М., 2006, 64 с. (Стандартинформ).

46. Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

47. РД 153-34.0-03.702-99. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. – М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2006. – 29 с.

48. Гигиенические нормативы: ГН 2.2.5.1313-03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации. – М.: Минздрав России, 2003. – 201 с.

49. Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы: ГН 2.2.5.2308-07. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 59 с.

50. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – М.: Минздрав России, 2008. – 52 с.

51. ГН 2.1.6.1338–03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М.: Минздрав России, 2003. – 15 с.
52. Технологический регламент «Установка гидродепарафинизации дизельного топлива».
53. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера // под ред. проф. В.Ф. Панина. – М.: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284 с.
54. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений. Введ. 01.07.86. – М.: Стандартинформ, 2010. – С. 137-138.
55. Матрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях в природно-техногенной сфере. Прогнозирование последствий : учебное пособие. – Москва: Академия, 2011. – 368 с.
56. Приказ МЧС РФ от 18 июня 2003 г. "Об утверждении норм пожарной безопасности "Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией".
57. Федеральный закон Российской Федерации от 23 февраля 2013 г. № 15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака».
58. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – Введ. 01.01.1995.- М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.

Приложение А

Таблица 1 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях, T _{pi}		Длительность работ в календарных днях, T _{ki}	
		t _{min} , чел-дни		t _{max} , чел-дни		t _{ожг.} чел-дни							
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1	Составление и утверждение технического задания	2		3		2,4		Р		2,4		4	
2	Подбор и изучение материалов по теме		5		10		7		Б		7		10
3	Выбор направления исследований	1	1	2	2	1,4	1,4	Р	Б	0,7	0,7	1	1
4	Календарное планирование работ по теме	2		4		2,8		Р		2,8		4	
5	Изучение литературы, термодинамический анализ реакций, составление формализованной схемы превращений		7		14		9,8		Б		9,8		14
6	Разработка кинетической модели	4	4	7	7	5,2	5,2	Р	Б	2,6	2,6	4	4

Продолжение таблицы 1

№	Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях, T _{pi}		Длительность работ в календарных днях, T _{ki}	
		t _{min} , чел-дни		t _{max} , чел-дни		t _{ож.к} , чел-дни							
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
7	Проверка модели на адекватность	1		1		1		Р		1		1	
8	Расчет результатов на разработанной модели		1		2		1,4		Б		1,4		2
9	Оценка эффективности результатов	1		2		1,4		Р		1,4		2	
10	Определение целесообразности проведения ОКР	1		1		1		Р		1		1	
11	Оценка эффективности полученных результатов	1		2		1,4		Р		1,4		2	
12	Составление пояснительной записки		4		7		5,2		Б		5,2		8
13	Подготовка к защите работы		7		14		9,8		Б		9,8		14
14	Защита дипломной работы		1		1		1		Б		1		1

Приложение Б

Таблица 2 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работы	Исполнители	Т _{кп} , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр	10													
3	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	1													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	4													
5	Изучение литературы, термодинамический анализ реакций, составление формализованной схемы превращений	Бакалавр	14													
6	Разработка кинетической модели	Бакалавр, руководитель	4													

Продолжение таблицы 2

№	Вид работы	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февр	Март			Апрель			Май			Июнь	
					3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
7	Проверка модели на адекватность	Руководитель	1							■					
8	Расчет результатов на разработанной математической модели	Бакалавр	2							▨					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2								■				
10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель	1									■			
11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2									■			
12	Составление пояснительной записки	Бакалавр	8									▨			
13	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр	14										▨		
14	Защита дипломной работы	Бакалавр	1												▨

Обозначения: ■ – Руководитель, ▨ – Бакалавр.